



TITLE:

結晶片岩型地すべりの移動機構の研究 : 特に地下水流と移動の関係について

AUTHOR(S):

丸井, 英明; 佐々, 恭二; 阪田, 大蔵; 武居, 有恒

CITATION:

丸井, 英明 ...[et al]. 結晶片岩型地すべりの移動機構の研究 : 特に地下水流と移動の関係について. 京都大学農学部演習林報告 1976, 48: 149-159

ISSUE DATE:

1976-10-25

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/191612>

RIGHT:

結晶片岩型地すべりの移動機構の研究

——特に地下水流と移動の関係について——

丸井英明・佐々恭二・阪田大蔵・武居有恒

On the mechanism of the movements of the metamorphic rocks landslide

——Mainly on the relationship between the ground
water flow and the landslide movement——

Hideaki MARUI, Kyōji SASSA, Daizō SAKATA and Aritsune TAKEI

目 次

要 旨	149	4. 地下水位変動と地すべり移動の関係	155
1. ま え が き	150	5. 地下水流の地すべり移動に及ぼす 影響について	157
2. 善徳地すべり地の位置およびボー リング孔の位置	150	引用文 献	159
3. 降雨と地下水位変動の関係からみ た地下水の挙動	151	Résumé	159

要 旨

結晶片岩型地すべりの一つの典型である徳島県善徳地すべり地において種々の調査を行ってきたが、本報では主としてパイプヒズミ計による深さ方向の移動の測定結果およびボーリング孔における地下水位の観測結果から、地下水と地すべり移動の関係について考察した。その結果、地下水位の上昇が必ずしも降雨と対応していないこと、地下水位の上昇と地すべり移動の間には必ずしも関係がみられないことが指摘できた。

従来の調査研究によれば、地すべりによる地表面の移動とその地下水位とはきわめて密接な関係を持ち、ある水位以上に地下水が上昇するとすべりが始まり、その水位以下にある場合は地すべりが起らない例が多いとされている。また地下水の地すべりに対する影響としては、地すべり粘土の含水率が増加するとそのせん断強度が低下すること、地下水位の上昇にともない間ゲキ水圧の増大によって有効応力が減少しせん断抵抗力が低下することなどがあげられている。ところが、善徳地すべり地においては、地下水位の上昇と地すべり移動の間に必ずしも関係が見られないことから、従来の考え方では十分説明し切れない。

そこで、地下水位調査によってボーリング孔でかなりの流速を持った水流の存在が確認されていること、また、地下の空ゲキの存在が推定されることから、善徳地すべり地の場合地下水の間ゲキ水圧としての作用よりも地下水流としての浸食の作用が移動に影響を及ぼしていると考えられる。すなわち以下のような移動機構が考えられる。「地下水流の浸食によって地下に空ゲキを生じ、そのために上層の土塊が底面の支持を失って沈下し上下動が生じる。ある場合は土塊の沈下だけで留まるが、ある場合には土塊の沈下によって隣接する地盤との境界面において土層のか

く乱——せん断抵抗力の低下が生じ、沈下土塊または隣接する土塊が斜面方向にすべり水平動が生じる。」という機構が考えられる。

1. ま え が き

結晶片岩型地すべりは日本の代表的な地すべりの型の一つであるが、動きが複雑であるためその移動形状はわかりにくく、それゆえ移動機構もまだほとんど解明されていない。

筆者の一人佐々等は昭和47年より結晶片岩型地すべりの中で地すべり面積・移動量の点で最大級の規模を持つ善徳地すべり地の調査を行なってきた。その目的は結晶片岩型地すべりの移動形状の把握、ひいては移動機構の解明にあり、調査内容は素因調査として弾性波探査、電気探査、弾性波垂直検層、土質試験、水質試験、粘土のX線回析などを行ない、誘因調査として雨量、水位、気温、地温測定、地下水流調査などを行なってきた。素因・誘因の結果として生ずる地すべり移動の形状を把握するために、縦断方向に関しては伸縮計25台、横断方向に関しては新しく考案製作したセン断変位計^{1,2)}64台、深さ方向に関してはパイプヒズミ計13孔による測定を行なってきた。

そこで本報では、一般に地すべりの移動の主要な要因であると考えられる地下水と移動の関係を考えるために、これまでの測定結果の中から、地下水位の変動の測定結果と、パイプヒズミ計による地すべり移動の測定結果を対比し検討を加えた。その結果、地下水位の変動とは余り関係なく動いており、従来の調査研究でいわれている結果とは異なっているのでこの点についての考察を行なった。

2. 善徳地すべり地の位置およびボーリング孔の位置

善徳地すべり地は、Fig. 1 に示すように吉野川の最大支川祖谷川の中流部にあり、³⁾地質的には三波川結晶片岩地域に属し、泥質片岩、砂質片岩、珪質片岩、塩基性片岩が水平ないし斜面方向

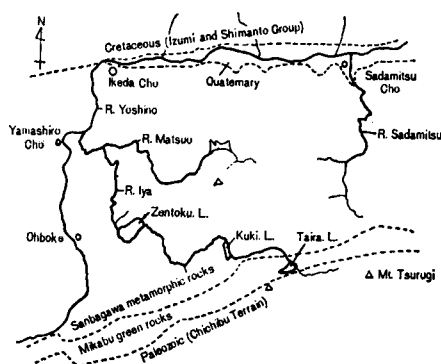
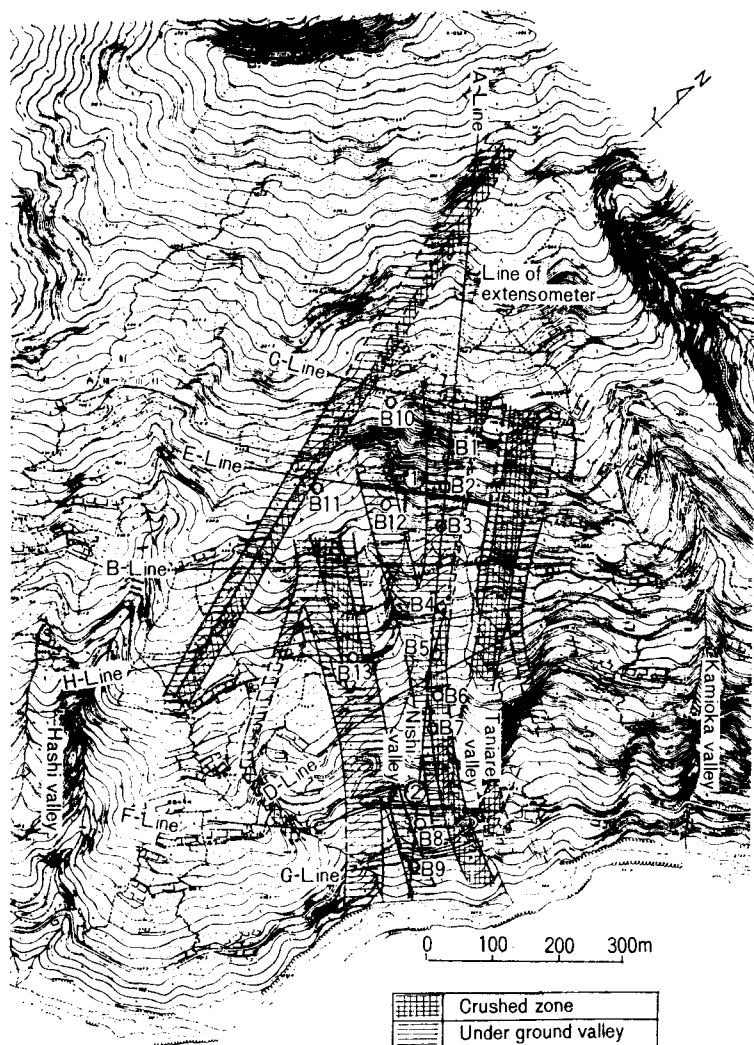


Fig. 1 Location of Zentoku landslide

に分布している。調査地域は善徳地すべり地の中で最も動きの激しい善徳東地区である。Fig. 2 はその地形図であり、ボーリング孔の位置を B1~B13 に、伸縮計設置位置を A 測線に、セン断変位計設置位置を E, F 測線に示す。



B1~B13: Bore holes

A-Line: Line of extensometers

①, ②: Lines of shear deformation meters

Fig. 2. Zentoku landslide

3. 降雨と地下水位変動の関係からみた地下水の挙動

降雨と地下水位変動の対応関係を調べ地下水流調査の結果とあわせて地下水の挙動を考察する。昭和49, 50年度の日雨量の観測結果を Fig. 3, 4 に, 各ボーリング孔における地下水位変動の測定結果を Fig. 5, 6 に示す。これらの測定結果の中から地下水の挙動を特徴づけているもの幾つかを例として抜き出し検討を加える。

ボーリング No. 1 においては48年度の観測では最も水位変動が激しく降雨と全く無関係に5～10 m 前後上下していたことが報告されており⁴⁾, また水量の少ない時にはサラサラと多い時にはゴージャと水音が鳴っていることを佐々が確認している。また49年度は全般に降雨との対応がある程度でいるが水音は小さくなっている。50年度は台風時に水位が上昇しているがそれ以外の

時の昇降は降雨と対応していないことが多い。これらの事実は地下水の経路が時によって変化していることを意味している。すなわち地下浸食による土砂の流出や地中内部における局所崩壊などによって水みちが変わり、水みちの断面の大きさが変化したか、あるいは地下水の性質が変化し、49年度は降雨と関連の少ない深層の地下水が減少し、降雨と関連の強い表層の地下水が増加し、50年度は逆にまた表層の地下水が減少し、深層の地下水が増加した可能性があると考えられる。

ボーリング No. 2 においては昭和48年度は変化が少なかったが、49年度は水位変化が各ボーリング孔の中で最も激しく降雨との対応もある程度あった。50年度も水位変化が最も激しくまた降雨ともかなりよく対応している。49年度の地下水流調査によればこのボーリング孔では地下水流がほとんどないことが認められており、また水音もしないことおよび水位変動が激しいことから大きな通水容量を持つ水みちが存在しないことが考えられる。Fig. 6 を見ると、水位が大きく上昇した際の上端の水位はいずれも 8m 付近にあることから、その付近にも水みちが存在し、下方の水みちが一杯になり水位が上昇するとこの上の水みちから流出しそれ以上は水位が上昇しないものと考えられる。

ボーリング No. 3 においては48年度、49年度とも降雨とよく対応しており、50年度の場合はさらによく対応している。地下水流調査の結果では水流は 11m 近辺をかなり強く流れており、水位もこの辺にあることが多い。水位の変動巾が小さいことから比較的断面の大きな水みちを流れていると考えられ、雨で水量が増加してもあまり水位が上昇しないものと考えられる。

ボーリング No. 7 は49年度は Fig. 5 に見られるように水位が突然に 10m 程度上昇したり（8月21日）、一方台風時に No. 2 で 5m 程度上昇しており、他のボーリング孔でも水位が上昇しているにもかかわらず下降している。また Fig. 6 に見られるように50年度も台風時にも水位が全然上昇せず、一方雨の少ない時期に突然に上昇している時もある。このボーリング孔においては

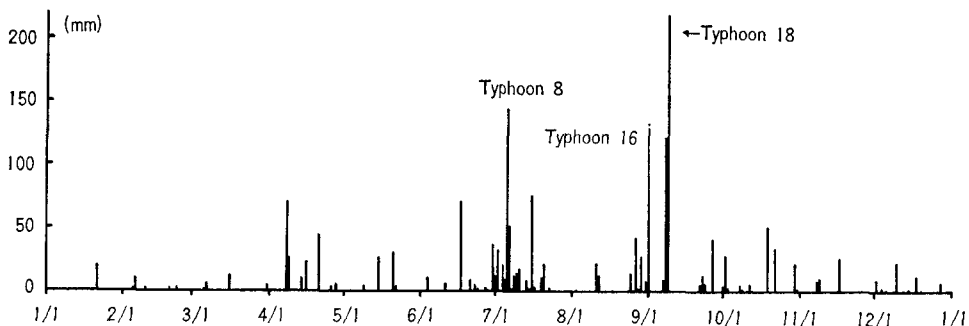


Fig. 3. Precipitation in Zentoku landslide (1974)

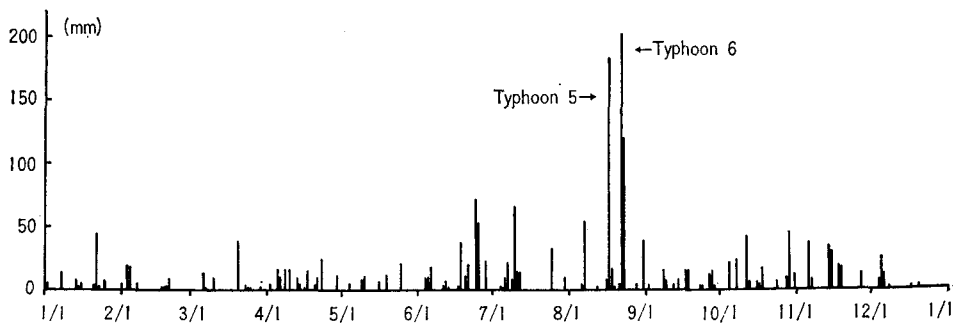


Fig. 4. Precipitation in Zentoku landslide (1975)

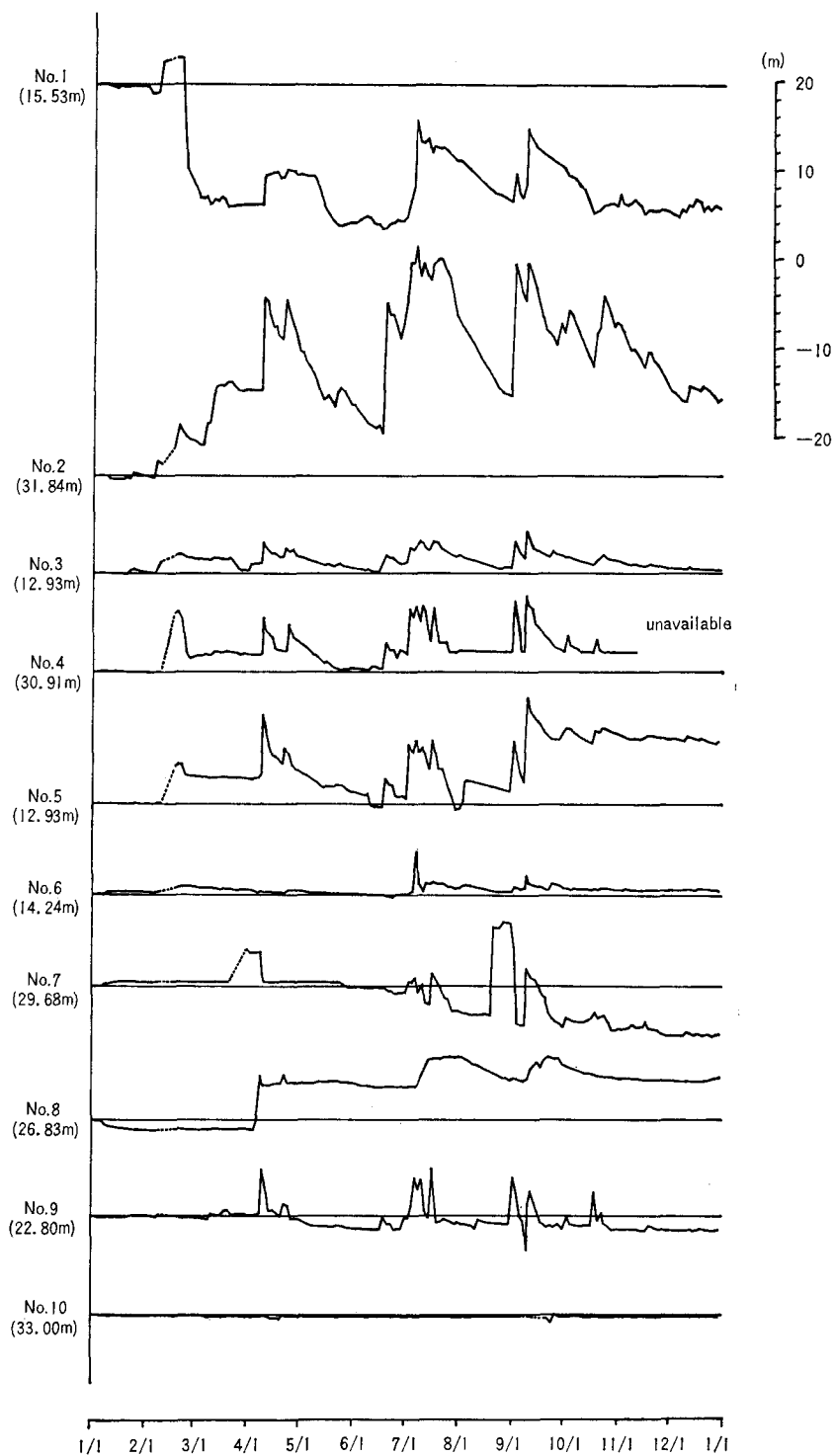


Fig. 5. Ground water level in bore holes (1974)

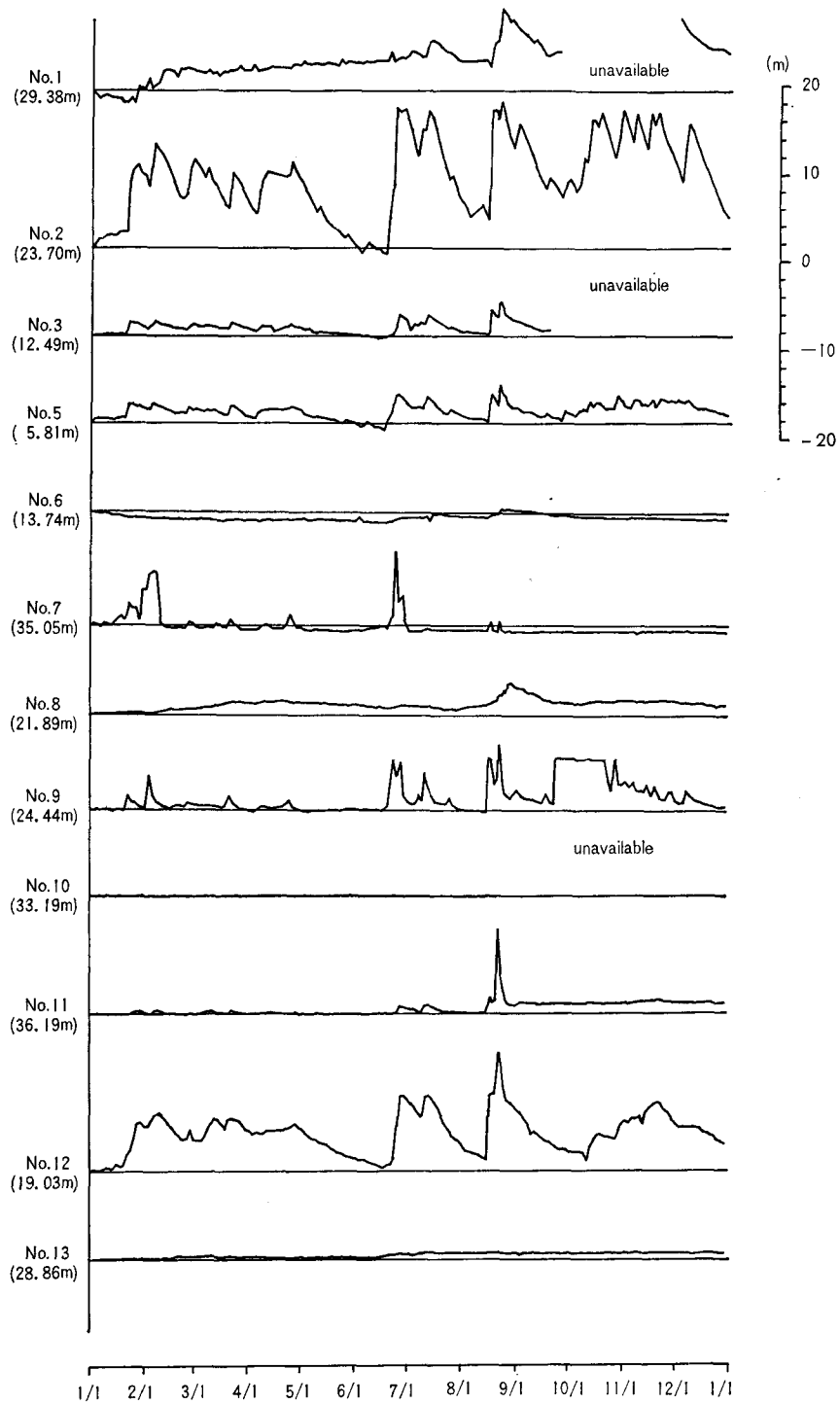


Fig. 6. Ground water level in bore holes (1975)

水音も高く、地下水流調査でも 30~40m の間で非常に早い水流が流れている。このように地下水流の激しい所での降雨と無関係な水位の昇降は、地下水流による浸食の結果、転石、土砂の流出のため、あるいは地中内部での局所崩壊のために水みちが閉塞されて急激な水位の上昇を来し、それが取り除かれると例え降雨による水量の増大があっても急激に水位が低下するものと考えられる。

50年度のボーリング No. 9 においても（このボーリング孔では水位変動は大体において降雨と対応しているが）、Fig. 6 に見るように 9 月末から10月末にかけての時期に台形状に水位が急上昇しそのままある期間一定の水位を保ちまた急に下降している部分についても同様の説明が可能である。すなわち、地下浸食による転石、土砂の流出、あるいは地中内部の局所崩壊によって水みちが閉塞されて急激な水位の上昇を来し、ある時期に水圧の増大などによって閉塞していた土砂が流出すると再び水みちが開いて急激に水位が下降したものと考えられる。

ボーリング No. 10 においては49年度、50年度とも水位は 33m とかなり深い深度で極めて安定している。地下水流調査によれば水流速度は大きく、また水音も高い。台風時において他のボーリング孔では 4~15m の水位上昇があってもこのボーリング孔ではわずか数 cm の上昇しか示さないが、水音は相当大きくなることから、流量は増大するが水みちの断面積が大きいために水位は上昇しないと考えられる。

以上の結果から次のことが指摘できる。

① 地下水の挙動が年によって異なるボーリング孔があり、このような場所では、地すべり移動によって、あるいは地下浸食や地中内局所崩壊によって地下の水みちが閉塞されたり、あるいは新たな水みちができたりして地下水の経路が変化していると考えられる。

② 降雨と関係なく突然の水位の昇降が見られるボーリング孔においては、地下水流がかなりの流速をもって流れており、地下浸食が激しく、水路床や側壁などの土砂、石礫を流出させ、あるいは局所崩壊を起し水路が閉塞され、急激な水位上昇を来し、水圧の増大などによってこれらを取り除かれるか、あるいは他の水みちが出来るかすると急激に水位が低下するものと考えられる。

③ 水位変動が激しいボーリング孔においては浅層の地下水量が多いこと、あるいは地下の水みちの断面が小さいことが考えられる。

④ 水位が極めて安定しているボーリング孔（たまり水の場合などの例外を除いて）、あるいは水位の変動巾の小さいボーリング孔で地下水流の存在が認められるものは、断面の大きな水みちを流れているので水量が増加してもあまり水位が変化しないものと考えられる。

4. 地下水位変動と地すべり移動の関係

ボーリング孔における地下水位の変動とパイプヒズミ計に表われた地すべりの動きとから地下水位の変動と地すべり移動の関係について考察する。例として昭和50年度のパイプヒズミ計測定結果の中からボーリング孔 No. 2 および No. 8 を抜き出して Fig. 7, 8 に示し、Fig. 6 に示した水位変動と対比して検討する。

ボーリング No. 2 については、Fig. 7 に示すようにパイプヒズミ計に現われた動きは年間を通じてじりじりと動いており、特に目立った動きは少ない。ただ7月25日から8月1日にかけて水位の下降時に 24m 付近で若干動いており、また10月2日から10月9日にかけて水位が深さ 16m から 9m まで上昇した時に 10m 付近で若干動いている。しかし全般には、このボーリング孔では Fig. 6 に示したように水位は非常に激しく変動しており、またその変動の巾も大きいにもかかわらず、たとえば水位は6月20日頃には深さ 24m から 8m 付近まで、8月15日頃には 20m から

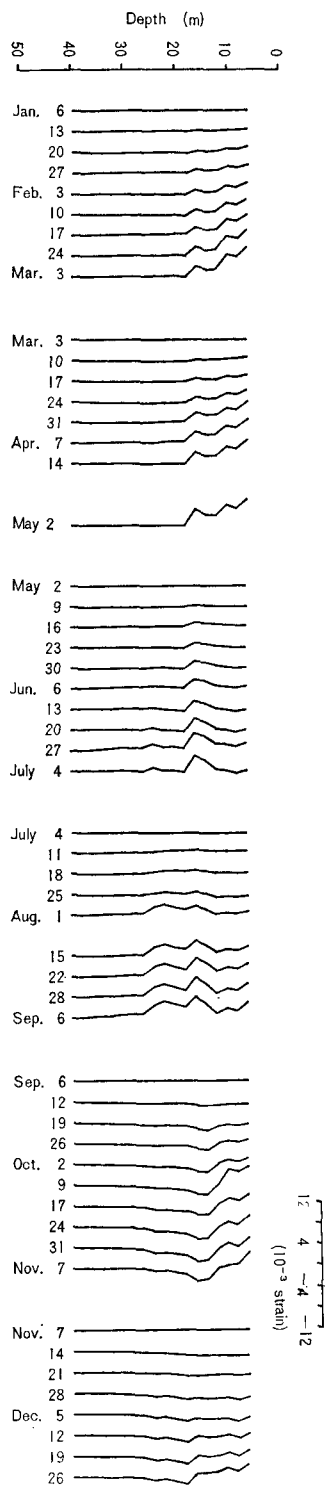


Fig. 7. Landslide movement measured by the pype stain meter No. 2

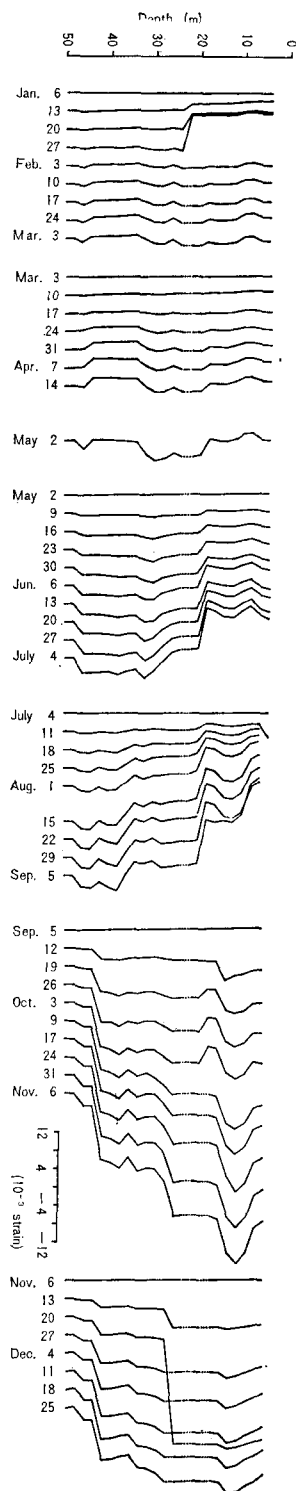


Fig. 8. landslide movement measured by the pype stain meter No. 8

8m 付近まで急激に上昇しているが、それに対応した動きはほとんど出ておらず、年間を通じて徐々に動いている。

ボーリング No. 5 においても地下水位の変動は降雨とかなりよく対応しているが、水位の変動巾は No. 2 より小さく、水音が大きいことが報告されており、比較的断面の大きな水みちを水流が流れていると考えられるが、このボーリング孔においても、パイプヒズミ計に表われた動きは No. 2 の場合とかなりよく似ており、特に水位上昇と対応した動きは見られず、年間を通じて徐々に動いている。

ボーリング No. 8 については、Fig. 8 に示すようにかなりの動きがでており特に7月以降大きく動いている。動きが大きいためゲージが数箇所破損している。Fig. 6 に示したようにこのボーリング孔では水位は大体安定しているが8月末には若干昇降がある。この8月末には台風による水位上昇後8月29日から9月5日にかけて14m 付近に若干の動きがでているが、それ以外の水位がほぼ安定している時期でも5月から6月にかけて動きがでており、また9月、10月、11月にもかなり動いており、そのためにゲージが破損した。

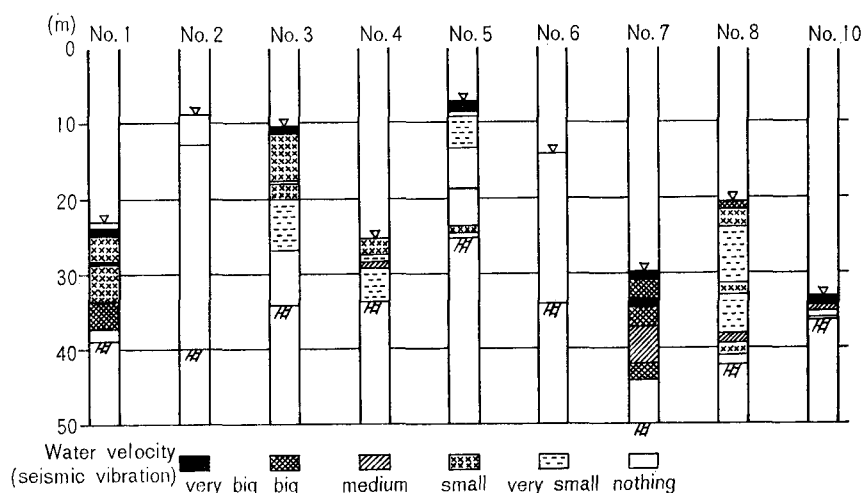


Fig. 9. Velocity of the ground water flow measured in bore holes by seismic detector.

ボーリング No. 10 についてはゲージがかなりの個所で破損したため累積柱状図はかけていないが、このボーリング孔では水位が一定しているが(かなりの流速の地下水流が存在する)、各所でゲージが壊れたり、あるいはパイプが曲って水位計が入らなくなった程の動きがあった。

以上述べたことは他のボーリング孔においても大体同じであり、水位変動の激しいボーリング孔においてはその水位変動とあまり関係なく、年間を通じて常に徐々に動いていること、また水位が一定しているボーリング孔においてもかなりの動きがでていることが指摘できる。

5. 地下水流の地すべり移動におよぼす影響について

従来の調査結果によれば、地すべりによる移動とその地域の地下水位とは極めて密接な関係を持ち、ある水位以上に地下水位が上昇すると地すべりが発生する例が多いとされている。例えば継続的に移動する地すべりと地下水位の関係は神谷地すべりの観測結果からは、地下水位の上昇が移動量の増加を来しており、わずかな水位差が移動量に大きく影響していることが報告されている。水位上昇が移動量の増加を来す理由としては、一つには含水率の増加による粘土の強度低

下、いま一つには間ゲキ水圧の増大による有効応力の減少——セン断抵抗力の低下があげられている。後者については、土質力学では、斜面上の土塊のセン断抵抗力は、間ゲキ水圧のない場合は $S = \sigma \tan \varphi + C$ (ただし、 S : セン断抵抗力、 σ : 垂直応力、 φ : 内部摩擦角、 C : 粘着力) で表わされるが、地下水が上昇した場合には、垂直応力として σ 全部が作用せず、一部は土中の水が受け持つことになるので、間ゲキ水圧のある場合にはこれを u とすると、 $S = (\sigma - u) \tan \varphi + C$ という式になりセン断抵抗力は減少することになる。

もしそのような移動機構による地すべり移動であるならば、水位の昇降にともなって移動量の増減があると考えられるが、善徳地すべり地の観測結果では前節に記したように水位上昇と移動との関係づけは困難である。すなわちパイプヒズミ計に表われた動きは全般に年間を通じて徐々に常に動いており、雨の少ない平常時にも動いている。台風時において若干目立った動きが見られるボーリング孔もあるが、この時水位変化の激しいボーリング孔において水位は上昇しているが、同じボーリング孔において台風時以外で同程度に水位が上昇した時にそれと見合うような目立った動きは出ていない。一方、水位が年間を通じて安定しているボーリング孔や、あるいは水位変動中の小さいボーリング孔においても動きが出ている。これらの事実は、従来の考え方による移動機構だけでは説明できない。

善徳地すべり地における地下水の挙動を考えるについて次のような事実が見られた。すなわち、地下水流調査によってかなりの流速を持った地下水流の存在が確認されているボーリング孔が幾つかあり、その水流によって地下浸食が生じ、地下の水みちにおいて土砂を流出させ空ゲキを拡大させていると考えられる。また地下谷上の数本のボーリングにおいて掘削中にロッドが落ち込む^{1,4)}など、地下浸食による大空ゲキの存在を示す事実があった。あるいは第3節に記したように地下浸食による土砂の流出あるいは地中内での局所崩壊による水みちの閉塞が推定されるような水位変化が観測された。以上の事実から考えると地下水の作用は、浸透水としての作用よりも、水流としての浸食の作用の方が卓越していると考えられる。

そこで以下に記すような移動機構が考えられる。「すでに見たように面的にも、深度的にも複雑に錯綜した地下の水みち（空ゲキ）においてかなりの流速をもった水流が存在し、それによって随所で間断なく浸食が生じ空ゲキが拡大し、その上層の土塊が底面の支持を失って沈下し、上下動が生じる。そしてある場合にはその部分の土塊の沈下だけに留まるが、ある場合には土塊の沈下によって隣接する地盤との境界面において土層のかく乱——セン断抵抗力の減少が生じ、沈下した土塊あるいは隣接する土塊が斜面方向にすべり水平動が生じる。」という機構が考えられる。

上に述べた移動機構は前報に記したようにセン断変位計による測定結果によっても裏付けられている。すなわち、通常の地すべりのように斜面方向のすべりの結果であるならば上下動と水平動は対応しているはずであるが、49、50年にセン断変位計で測定された動きは、上下動と水平動を比較すると、同時期の両者の動きにあまり対応関係が見られないこと、また上下動が水平動よりも卓越していること、あるいは通常の地すべりの場合は大量の降雨があって水位が上昇した時に動く⁷⁾といわれているが、台風時だけではなく降雨の少ない平常時にもかなり大きく動いていることなどから移動の主な原因が間断なく続く地下浸食にあることをある移度裏付けていると考えられる。

地すべり地が広大であるために地下水の経路が複雑であり、その挙動の把握がまだ十分ではないので、この点の解明のために地下の水流の流速の測定を行なうことほか、今後研究を継続する考えである。

最後に調査、研究にあたってアドバイスをいただいた、京大砂防の小橋澄治先生に謝意を表し

ます。また調査の遂行にあたって御協力、御支援いただいた建設省急傾斜地保全課、徳島県砂防課、池田土木事務所の皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 佐々恭二・仲野公章・武居有恒：破碎帯地すべりにおける地すべり移動横断形状（水平動，上下動）の測定結果について一試作したセン断変位計64台の設置結果より一，京大演報，（1975年）
- 2) 佐々恭二・武居有恒・小橋澄治：三波川片岩類地帯の地すべり移動形態の特徴一善徳地すべりにおける現地観測の結果より一，災害シンボ講，（1975年）
- 3) 徳島県土木部砂防課：善徳地すべりについて，（1971年）
- 4) 武居有恒・佐々恭二・谷口義信：善徳地すべり地調査報告一II，徳島県，（1974）
- 5) 武居有恒・佐々恭二・小橋澄治・仲野公章：善徳地すべり地調査報告一III，徳島県，（1975年）
- 6) 谷口敏雄：地送り移動に及ぼす降雨及地下水の影響，（1952年），建設省砂防課
- 7) 佐々恭二・武居有恒：伸縮計観測による結晶片岩型地すべりの地すべり縦断移動状況一平常時の地すべり移動の原因について一，日林講，（1976年）

Résumé

The authors have done many kind of researches on the Zentoku landslide in Tokushima Prefecture, and they have found an interesting fact on the influence of ground water level for landslide movement observed by pipe strain meters. Namely it has been found that the ground water level does not necessarily have an essential effect on landslide movement, and supplementally the ground water level also does not always correspond to the precipitations.

It is well known through the existing researches that landslide movement has fairly close relationship with the ground water level, therefore landslide starts to move when the ground water level ascends over a certain level and it does not move when the ground water level is below the level. The reasons why ground water level has an essential influence on the landslide movement are considered to be the followings; The shearing strength of clay decreases with the increase of the water content in it, and it decreases also with the decrease of effective stress caused by the rising pore pressure. However, the landslide movement in Zentoku does not always correspond to the ground water level. The reason of the landslide, therefore, cannot be explained by the usual idea.

To give some solution to this problem, the authors have established a following new hypothesis from the results of researches that there possibly are rather big voids or openings, and the ground water flows through them with rather big velocity. The fissured or broken rock layers are eroded by ground water flows unceasingly, and voids and openings in the underground are enlarged, as the result of it, the soil mass possibly submits on them sometime. In some case the submission does not cause any other movement, but in some case it possibly causes the landslide movement because the submission decreases the shearing resistance on the vertical and side planes of the landslide mass, by the disturbance or failure of rocks.